妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊生长性能、器官发育和血清抗氧化指标的影响

张　帆　崔　凯　王　杰　刁其玉*

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室，北京　100081）

摘　要：本试验在干物质采食量一致条件下，改变精料补充料与饲草比例调控妊娠后期母羊饲粮营养水平，旨在研究其对产后羔羊生长性能、器官发育和血清抗氧化指标的影响。选用健康、年龄[（11.0±1.0）月龄]和体重[（44.43±2.20） kg]相近、妊娠 90 d 的怀双羔初产湖羊母羊 66 只，分为 3 组，每组 22 只。以干物质为基础按照精料补充料与饲草比例分别为 5:5（5:5 组）、4:6（4:6 组）和 3:7（3:7 组）饲喂至产羔，产羔后各组母羊饲喂相同的全混合日粮，自由采食。出生 10、60 d 屠宰羔羊测定各组织器官重量，出生 20、60 d 采集羔羊血清测定血清抗氧化指标。结果表明：1）妊娠后期母羊饲粮营养水平对羔羊初生重、哺乳期（出生 0~60 d）羔羊体重均无显著影响（P>0.05），但随营养水平降低，羔羊初生重有降低趋势（0.05≤P<0.10），出生 40 和 50 d 体重有增加趋势（0.05≤P<0.10）。2）出生 0 d，随着妊娠后期母羊饲粮营养水平的降低，羔羊的胸深极显著提高（P<0.01），体斜长显著降低（P<0.05）；出生 60 d，随着妊娠后期母羊饲粮营养水平的降低，羔羊的胸深、曲冠臀长显著或极显著提高（P<0.05 或 P<0.01）。3）出生 10 d，羔羊的肝脏、肺脏的重量随妊娠后期母羊饲粮营养水平的降低而显著降低（P<0.05）；出生 60 d，各组羔羊的组织器官重量差异不显著（P>0.05）。4）出生 20 和 60 d，随着妊娠后期母羊饲粮营养水平的降低，羔羊血清中总抗氧化能力（T-AOC）、超氧化物歧化酶（SOD）活性、谷胱甘肽过氧化酶（GSH-Px）含量显著或极显著提高（P<0.05 或 P<0.01），丙二醛（MDA）含量极显著降低（P<0.01）。妊娠后期通过精料补充料与饲草比例调控母羊饲粮营养水平时发现，低营养水平（低精料补充料比例）能够降低羔羊初生重，但经补偿生长作用，羔羊血清抗氧化能力得到提高，生长性能也得到恢复。

关键词：妊娠后期；营养水平；湖羊；羔羊；体重；器官发育；抗氧化

收稿日期：2016-08-01

基金项目：国家肉羊产业技术体系建设专项资金（CARS-39）；南方地区幼龄草食畜禽饲养技术研究（201303143）

作者简介：张　帆（1990—），男，河南南阳人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail： 1065598441@qq.com

*通信作者：刁其玉，研究员，博士生导师，E-mail： diaoqiyu@caas.cn

中图分类号：S826

妊娠后期是胚胎在母羊体内发育的重要时期，母羊的营养需要量增加，妊娠后期的营养限制会影响后代的器官发育、生长性能和繁殖性能等[1]。湖羊是著名的多胎绵羊品种，具有生长发育快、繁殖力强、宜舍饲、产肉性能和肉质好等优良特点[2]，在肉羊养殖行业内得到大范围的推广。反刍动物饲养中，提高饲粮营养水平的方法有许多，可以增加精料补充料营养水平，也可以增加精料补充料饲喂量[3]。因此，研究通过调节妊娠后期母羊饲粮的精料补充料与饲草比例来调节饲粮营养水平对产后羔羊的生长发育的影响具有重要的实际生产意义。部分学者围绕饲粮精粗比对动物生产性能的影响开展了研究。崔晓鹏等[4]研究发现，随着补饲精料补充料水平的提高，母羊分娩失重减少，羔羊初生重随之增加，精粗比为 5:5 效益最好。He 等[5]研究发现，妊娠后期母羊饲粮的能量、蛋白质限制均降低了后代羔羊的抗氧化能力，但在经过产后营养水平的恢复，多数的抗氧化指标及基因表达水平可恢复到正常水平。Van Emon 等[6]发现，妊娠后期母羊蛋白质水平对羔羊的初生重无显著影响，断奶体重和日增重随蛋白质水平的增加有增加的趋势。因此，饲粮精粗比影响动物对饲料利用率和反刍动物生产性能[7]，妊娠期母羊的营养也会影响后代的健康成长。关于饲粮精粗比对动物生长发育、消化代谢及妊娠后期能量、蛋白质等营养水平对产后羔羊的生长发育的影响已有研究，但关于妊娠后期母羊通过改变精料补充料与饲草比例调控饲粮营养水平对产后羔羊的生产性能的研究较少。本试验在干物质采食量一致条件下，改变精料补充料与饲草比例调控妊娠后期母羊饲粮营养水平，旨在研究其对产后羔羊生长性能、器官发育和血清抗氧化指标的影响，为深入了解妊娠后期母羊饲粮的营养水平对后代的健康生长提供理论基础，同时也为舍饲条件下妊娠母羊饲粮配制提供指导。

1　材料与方法

1.1　试验动物和试验设计

本试验于 2015 年 7 月 31 日至 2016 年 2 月 28 日在山东省临清市润林牧业有限公司进行。试验选用体况健康、年龄和体重相近的初产湖羊母羊 140 只，用同一只公羊精液进行人工授精配种。

妊娠 1~90 d，母羊饲喂相同的全混合日粮(TMR)，自由采食；妊娠 50 d 经 B 超鉴定后，选取 66 只怀双羔母羊，在妊娠 90 d[体重(44.43±2.20） kg,（11.0±1.0）月龄]时，按母羊

体重一致原则随机分为 3 组，每组 11 个重复，每个重复 2 只。妊娠 90 d 至产羔，各组均采用相同的精料补充料和饲草，以干物质为基础按照精料补充料与饲草比例分别为 5:5、4:6 和 3:7 进行定量饲喂。产羔后，各组母羊饲喂相同的 TMR，自由采食。

132 只羔羊随母哺乳至 10 日龄，每组 44 只中选取 3 只公羔进行屠宰；每只母羊留 1 只羔羊随母哺乳至 60 日龄哺乳结束，屠宰待测。

1.2 试验饲粮

试验各组饲粮均为相同的精料补充料和饲草，分别按照精料补充料与饲草比例为 5:5、4:6 和 3:7 进行饲喂，其中 5:5 组饲粮的营养水平参照本课题组楼灿等[8]的妊娠后期母羊营养需要量进行配制。干物质采食量最低组（3:7 组）作为各组的饲喂量，5:5、4:6 和 3:7 组母羊每只每天的精料补充料饲喂量分别为 720、570 和 420 g（风干基础），饲草饲喂量分别为 2.28、2.74 和 3.20 kg（湿样），保证各组基本采食干净。精料补充料为颗粒料，饲草为玉米全株青贮和花生秧按干物质比例 1:1 拌匀。试验饲粮组成及营养水平见表 1。预混料为北京精准动物营养研究中心的 4%妊娠母羊预混料。营养水平均参照《饲料分析及饲料质量检测技术》[9]进行测定。

表1 试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	含量 Content		
	5:5组 5:5 group	4:6组 4:6 group	3:7组 3:7 group
原料 Ingredients			
玉米 Corn	29.44	23.55	17.66
小麦麸 Wheat bran	8.06	6.45	4.84
豆粕 Soybean meal	10.21	8.17	6.13
预混料 Premix1)	2.29	1.83	1.37
花生秧 Peanut seedling	25.00	30.00	35.00
玉米青贮 Corn silage	25.00	30.00	35.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels2)			
干物质 DM	62.58	57.35	52.12
有机物 OM	91.64	91.42	91.20
粗灰分 Ash	8.36	8.57	8.79
总能 GE/(MJ/kg)	17.60	17.35	17.10
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.13	11.36	10.59
粗蛋白质 CP	14.72	13.65	12.59
粗脂肪 EE	3.08	3.15	3.21

中性洗涤纤维 NDF	44.51	47.73	50.96
酸性洗涤纤维 ADF	21.67	25.04	28.41

1) 预混料为每千克饲粮提供The premix provided the following per kg of diets：Ca 10.3 g，P 6.1 g，VA 30 000 IU，VD 10 000 IU，VE 100 mg，Na 3.5 g，Cu 12.5 mg，Fe 90 mg，Mn 50 mg，Zn 80 mg，I 0.8 mg，Se 0.3 mg，Co 0.5 mg。

2) 代谢能为计算值[10]，其余为实测值。ME was a calculated value[10], and others were measured values.

1.3 饲养管理

试验前，对所有羊舍进行相应的清理消毒，所有羊只进行检疫、驱虫处理，对圈舍及饲槽进行分隔，2 只同栏饲喂，自由饮水，所有栏位均放置舔砖，并于每周一、周四定期消毒。妊娠期母羊在试验期间每天饲喂 2 次，每次饲喂量相同，分别于每天 06:30 和 16:00 开始饲喂饲草，饲草基本采食完毕饲喂精料补充料。

1.4 样品的采集与分析测定

1.4.1 羔羊体重的测定

分别于羔羊出生后0、10、20、30、40、50和60 d 08:00之前称取羔羊的体重。

1.4.2 羔羊体尺的测定

分别于羔羊出生后0、60 d测定羔羊的体尺，其测定指标及测定方法如下。体高：肩胛骨最高点到地面的垂直距离。胸深：鬐甲至胸骨下缘的垂直距离。胸围：肩胛骨后缘绕胸一周的长度。腹围：腹部最大处的垂直周径。头宽：头部两侧横肌线长度。头长：头部顶端只下巴垂直距离。直冠臀长：前额端至尾椎骨末端垂直距离。曲冠臀长：前额端沿背部至尾椎骨末端的距离。体斜长：肩端至坐骨结节末端距离。

1.4.3 组织器官发育指标的测定

在羔羊出生后 10、60 d，每组选取 3 只与各组平均体重接近的公羔进行屠宰，分别测定羔羊的心脏、肝脏、脾脏、肺脏、肾脏、胃和小肠的重量。

1.4.3 血液采集和相关指标的测定

在羔羊出生后 20、60 d，每组选取 8 只羔羊（公母各占 1/2），颈静脉采血，3 000 r/min 离心 15 min，收集血清于 1.5 mL 离心管中，-20 ℃保存用于测定血清抗氧化指标。

采用 L-3180 半自动生化分析仪测定血清总抗氧化能力（T-AOC）、超氧化物歧化酶（SOD）活性、谷胱甘肽过氧化酶（GSH-Px）含量、丙二醛（MDA）含量，试剂盒购于

南京建成生物工程研究所。

1.5　数据处理与统计分析

试验数据采用 Excel 2013 进行初步统计分析后，采用 SAS 9.4 单因素方差分析（one-way ANOVA）程序进行分析，采用 Duncan 氏法进行多重比较，以 0.05≤*P*<0.10 作为有显著性趋势判断标准，以 *P*<0.05 作为差异显著判断标准，以 *P*<0.01 作为差异极显著判断标准。

2　结　果

2.1　妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊生长性能的影响

妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊生长性能的影响见表2。结果表明，通过改变精料补充料与饲草饲喂比例调控饲粮营养水平对产后羔羊各时期组间的体重影响均不显著（*P*>0.05）。随妊娠后期母羊饲粮营养水平的降低，羔羊的初生重（0 d）有降低趋势（0.05≤*P*<0.10），但在出生40、50 d时羔羊体重有增加趋势（0.05≤*P*<0.10）。3:7组羔羊的平均日增重高于另外2组，但差异不显著（*P*>0.05）。

表2　妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊生长性能的影响

Table 2　Effects of maternal dietary nutrient level in late gestation on growth performance of postpartum lambs

项目 Items	出生后时间 Time after birth/d	5:5组 5:5 group	4:6组 4:6 group	3:7组 3:7 group	标准差 SEM	*P*值 *P*-value
体重 Body weight/kg	0	3.47	3.38	3.03	0.08	0.071
	10	5.23	5.07	5.60	0.16	0.400
	20	7.23	6.84	7.33	0.30	0.799
	30	10.47	9.95	10.83	0.24	0.361
	40	12.54	12.00	13.65	0.29	0.071
	50	14.67	13.00	14.76	0.37	0.093
	60	16.35	16.25	17.60	0.40	0.328
平均日增重 Average daily gain/g	0~60	218.93	217.08	234.57	6.40	0.497

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(*P*＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(*P*＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著(*P*<0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (*P*<0.01). The same as below.

2.2 妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊体尺指标的影响

妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊的体尺指标影响见表3。结果表明，妊娠后期母羊饲粮营养水平对出生0 d羔羊的体高、胸围、腹围、头宽、头长和曲冠臀长无显著性影响（*P*>0.05）；3:7组羔羊的胸深极显著高于5:5组和4:6组（*P*<0.01）；随着妊娠后期母羊饲粮营养水平降低，羔羊的直冠臀长呈降低趋势（0.05≤*P*<0.10）；3:7组的体斜长显著低于5:5组和4:6组（*P*<0.05）。出生60 d时，各组间羔羊的体高、胸围、腹围、头宽和头长差异不显著（*P*>0.05）；3:7组羔羊的胸深显著高于4:6组（*P*<0.05）；随着妊娠后期母羊饲粮营养水平降低，羔羊的直冠臀长呈增加趋势（0.05≤*P*<0.10）；3:7组的曲冠臀长极显著高于5:5组和4:6组（*P*<0.01）。

表3 妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊体尺指标的影响

Table 3 Effects of maternal dietary nutrient level in late gestation on body measurements of postpartum lambs

cm

出生后时间 Time after birth/d	项目 Items	5:5组 5:5Group	4:6组 4:6 Group	3:7组 3:7 Group	标准差 SEM	*P*值 *P*-Value
0	体高 Body height	37.22	36.45	36.25	0.38	0.715
	胸深 Chest depth	14.02^{Aa}	13.41^{Aa}	15.79^{Bb}	0.29	0.003
	胸围 Chest circumference	33.88	33.67	35.59	0.36	0.068
	腹围 Abdominal circumference	33.23	32.77	33.56	0.36	0.693
	头宽 Head breadth	7.81	7.54	7.34	0.09	0.116
	头长 Head length	12.31	12.11	12.09	0.09	0.546
	直冠臀长 Straight crown-rump length	44.67	43.83	42.13	0.44	0.060
	曲冠臀长 Curved crown-rump length	51.21	51.18	49.52	0.50	0.347
	体斜长 Body length	30.46^{b}	30.58^{b}	28.08^{a}	0.43	0.032
60	体高 Body height	52.05	52.51	53.53	0.51	0.489
	胸深 Chest depth	27.94^{ab}	27.04^{a}	28.92^{b}	0.31	0.046
	胸围 Chest circumference	61.21	60.39	63.21	0.57	0.129
	腹围 Abdominal circumference	65.33	64.41	65.98	0.71	0.682
	头宽 Head breadth	10.71	10.75	11.06	0.07	0.139
	头长 Head length	17.49	17.65	17.67	0.13	0.808
	直冠臀长 Straight crown-rump length	72.48	76.88	80.30	1.34	0.052
	曲冠臀长 Curved crown-rump length	89.07^{Aa}	89.59^{Aa}	94.80^{Bb}	0.85	0.007
	体斜长 Body length	54.54	53.35	56.35	0.52	0.068

2.3 妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊组织器官发育的影响

妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊组织器官发育的影响见表4。结果表明，出生10 d，羔羊的肝脏、肺脏的重量随妊娠后期母羊饲粮营养水平的降低而显著降低（*P*<0.05）；

而妊娠后期母羊饲粮营养水平对羔羊的心脏、脾脏、肾脏、胃和小肠均无显著性影响（*P*>0.05）。妊娠母羊饲粮的营养水平对出生后60 d时羔羊的心脏、肝脏、脾脏、肺脏、肾脏、胃和小肠的重量均无显著性影响（*P*>0.05）。

表4　妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊组织器官发育的影响

Table 4　Effects of maternal dietary nutrient level in late gestation on tissue and organ development of postpartum lambs　　g

出生后时间 Time after birth/d	项目 Items	5:5组 5:5 group	4:6组 4:6 group	3:7组 3:7 group	标准差 SEM	*P*值 *P*-value
10	心脏 Heart	30.30	30.31	30.20	0.91	0.999
	肝脏 Liver	126.06^{b}	124.43^{b}	112.37^{a}	2.13	0.031
	脾脏 Spleen	10.47	9.47	8.77	0.64	0.612
	肾脏 Kidney	30.97	31.57	30.43	1.02	0.925
	肺脏 Lung	107.00^{b}	97.10^{ab}	83.47^{a}	4.82	0.048
	胃 Stomach	61.83	61.30	50.20	3.39	0.325
	小肠 Small intestine	165.70	147.00	157.80	3.79	0.127
60	心脏 Heart	90.23	86.63	86.67	4.43	0.561
	肝脏 Liver	406.40	362.87	388.60	17.85	0.765
	脾脏 Spleen	32.83	35.60	40.20	1.63	0.180
	肾脏 Kidney	71.97	70.30	69.03	1.18	0.600
	肺脏 Lung	361.93	367.07	392.33	24.14	0.891
	胃 Stomach	373.23	365.47	361.60	19.93	0.978
	小肠 Small intestine	565.33	601.47	514.00	25.35	0.422

2.4　妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊血清抗氧化指标的影响

妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊的血清抗氧化指标的影响见表5。结果表明，出生20 d时，4:6组和3:7组羔羊血清中T-AOC极显著高于5:5组（*P*<0.01）；3:7组血清中的SOD活性、GSH-Px含量显著高于5:5组（*P*<0.05）；5:5组血清中MDA的含量极显著高于4:6组和3:7组（*P*<0.01）。出生60 d时，随着妊娠后期母羊饲粮营养水平降低，羔羊血清中T-AOC、SOD活性、GSH-Px含量极显著提高（*P*<0.01），MDA含量极显著降低（*P*<0.01）。

表5　妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊血清抗氧化指标的影响

Table 5　Effects of maternal dietary nutrient level in late gestation on serum antioxidant indexes of postpartum lambs

出生后时间 Time after birth/d	项目 Items	5:5组 5:5 group	4:6组 4:6 group	3:7组 3:7 group	标准差 SEM	*P*值 *P*-value
20	总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	7.94^{Aa}	9.13^{Bb}	9.96^{Bb}	0.23	<0.001

超氧化物歧化酶 SOD/（U/mL）	87.75^{a}	90.76^{ab}	95.47^{b}	1.24	0.028
谷胱甘肽过氧化酶 GSH-Px/（μmol/L）	833.90^{a}	856.61^{ab}	929.76^{b}	18.94	0.049
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	5.36^{Bb}	4.30^{Aa}	4.01^{Aa}	0.18	0.002
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	7.85^{Aa}	9.11^{Bb}	10.27^{Cc}	0.25	<0.001
超氧化物歧化酶 SOD/（U/mL）	84.74^{Aa}	89.89^{Bb}	99.79^{Cc}	1.50	<0.001
谷胱甘肽过氧化酶 GSH-Px/（μmol/L）	768.11^{Aa}	830.97^{Bb}	891.13^{Bb}	15.69	0.002
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	5.06^{Bb}	4.21^{Aa}	3.78^{Aa}	0.15	<0.001

3 讨 论

3.1 妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊生长性能的影响

反刍动物对饲草的消化吸收利用率低于精料补充料，因此在饲草比例增加而精料补充料比例减少时，动物摄入的代谢能、代谢蛋白质及其他营养物质的含量相应降低。在妊娠后期，胚胎快速生长发育，当母羊的饲粮营养水平不能满足胚胎的正常发育的需求时，母羊会动员自身的营养储备[11]，尽量满足胚胎的生长发育。当母体的营养摄入不足时，母体会利用自身储备的碳水化合物、蛋白质、脂肪等进行适应性调节，通过降低自身的增重甚至降低体重，最大限度为胎儿发育提供营养物质[12]，从而保证胎儿的正常发育。Chadio等[13]的研究显示，妊娠后期母羊的营养水平对羔羊的初生重无显著影响，母体的适应性调节能保持胚胎的健康发育。Van Emon等[14]研究了妊娠后期母羊饲粮的代谢蛋白质水平对羔羊的初生重的影响，研究发现妊娠后期饲粮代谢蛋白质水平对羔羊的初生重和断奶体重无显著影响。本试验中羔羊的初生重组间差异不显著，这与王宏博等[15]研究的母羊在妊娠后期分别采用0.8、0.9和1.0倍NRC（2007）营养水平饲粮饲喂时，羔羊初生重无显著差异的结果相一致，但该研究中母羊的体重受到极显著影响，说明此营养水平在母羊的耐受范围内，母羊以自身体重降低来保持胚胎健康生长，但是羔羊的初生重有降低趋势，说明母羊的营养在一定程度会影响胚胎发育。母体的营养调控的缓冲体系被打破时，则会严重影响胎儿正常发育，同时影响到母体的健康[16]。高峰等[17]采用妊娠后期母羊的饲喂量限制，羔羊初生重受到极显著影响，但在28周龄时，各组间羔羊体重差异不显著。本试验中在妊娠期母羊通过自身的营养调控维持了羔羊的初生重，在产后因为母羊充足的营养摄入量，羔羊的营养摄入充足，因此在哺乳期羔羊能够正常发育。但是，尽管羔羊各阶段体重差异不显著，通过结果可以看出，羔羊出生40和50 d体重随母羊营养水平降低有增加趋势，3:7组的平均日增重也高于另外2组。这说明尽管妊娠期母羊营养水平降低，但羔羊在出生后，在充足营养条件下，母羊营养限制可促进羔羊生长。有研究也报道，妊娠低营养小鼠的仔鼠在出生

后，当给予充足营养时表现更强的采食能力，生长速度得到提高[18]。高峰等[19]研究妊娠后期限饲母羊超补偿生长的现象时发现，妊娠期母羊的限饲在分娩后其羔羊经补偿生长后，限饲组的羔羊体重均高于未限饲组。本试验的结果与其相似，妊娠期母羊的低营养水平使得产后羔羊在营养恢复的作用下提高了采食量，进而促进了生长。

3.2 妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊体尺指标的影响

羊的体尺指标反映其生长发育状况，可作为羊生长发育的重要指标，反映羊的体格大小、体躯结构、发育状况等，也可间接反映羊只组织器官发育状况[20]。虽然体重可作为反映动物生长发育的指标之一，但体重不能反映动物具体各部位的发育状况，因此体尺的测定对评价羔羊的发育状况有重要的意义。本试验中，出生0 d时，羔羊的胸深和胸围随母羊饲粮营养水平水平的降低而增加，但直冠臀长和体斜长出现降低，说明虽然母羊的饲粮营养水平没有显著影响到羔羊的体重，但会影响到羔羊的体尺。妊娠期母羊饲粮精料补充料比例的降低、饲草比例的增加会降低产后羔羊的体斜长，但会使得羔羊的胸围增加。在60 d时，通过羔羊的补偿生长作用，随着妊娠后期母羊饲粮营养水平的降低，羔羊的直冠臀长、曲冠臀长、体斜长反而有所提高，羔羊的生长速度得到提高。高峰等[20]对妊娠后期的苏尼特羊进行限制饲养，对产后羔羊的补偿生长试验发现，胎儿期受限的苏尼特羊表现补偿生长反应。补偿生长是动物在前期营养摄入不足情况下，在营养恢复正常后，机体表现较快的生长速度的现象，表现有超补偿生长、全补偿生长、部分补偿生长、零补偿生长和负补偿生长5个梯度[21]。本试验中妊娠后期低营养水平组羔羊出生60 d时部分体尺指标优于高营养水平组，可能原因是羔羊通过增加采食量提高生长速度，处于超补偿生长状态。

3.3 妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊组织器官发育的影响

胚胎在子宫内的不良环境下的适应性变化对胎儿及新生儿的健康有决定性的影响[22]，动物的营养摄入水平、饲粮品质和数量都会影响到内脏器官的代谢活动和生长发育[23]。本试验发现，随母羊妊娠后期营养水平的降低，出生10 d羔羊的肝脏和肺脏重量出现显著的降低。肝脏是动物的重要代谢器官，妊娠期母体的营养影响到羔羊肝脏的发育；在妊娠期，母羊营养的限制可能通过影响胎盘的血流量，造成胎儿的氧及营养物质获取受到限制，影响到肺脏的发育，降低肺脏的重量。母羊在相同干物质采食量的情况下，按照不同精料补充料与饲草比例进行饲喂，影响到母羊的营养摄入水平，营养的受限会影响血液氧的供应，

影响肺脏的发育。高峰等[17]研究了妊娠后期宫内生长受限对出生后羔羊的内脏器官的影响，结果也表明，妊娠期的营养限制显著降低了出生羔羊肝脏、肺脏的重量，但在28周龄时差异不显著。虽然妊娠后期母羊饲粮营养水平对其他组织器官重量无显著，但通过结果也可以看出，器官的重量随精料补充料水平的降低而降低，表明妊娠后期的母羊饲粮营养水平影响羔羊的器官发育。He等[24]研究了妊娠后期的能量、蛋白质40%限制对产后羔羊的组织器官发育的影响，结果显示，经哺乳期羔羊的恢复，6周龄时，能量和蛋白质限制对羔羊的各组织器官除肾脏外无显著的影响。本试验中，在出生60 d时羔羊的各组织器官重量组间差异不显著，原因可能是，在哺乳期，羔羊的补偿生长降低了妊娠期的母羊营养水平对羔羊器官重量的影响。重量并不能全面反映动物组织器官的结构和功能的恢复，功能可能受到影响。因此，低营养水平饲喂水平下的母羊所产羔羊，器官重量不受影响，但功能可能受到影响。

3.4 妊娠后期母羊饲粮营养水平对产后羔羊血清抗氧化指标的影响

动物机体能够不断产生多种抗氧化物质，以用于清除自身产生的过剩自由基，进而维持机体的动态平衡，保持健康，使细胞免受氧化损害。血清中T-AOC、SOD活性、GSH-Px含量、MDA含量可反映动物机体的抗氧化能力。T-AOC是衡量生物机体最佳抗氧化能力指标之一，反映机体抗氧化防御体系对自由基的代谢状态[25]；SOD是生物体内氧自由基的天然清除剂，其活性可以反映机体清除氧自由基的能力[26]；GSH-Px可以消除细胞内的过氧化氢及脂质自由基，有保护细胞膜作用[27]；MDA是脂质过氧化物的代谢终产物，可氧化细胞膜不饱和脂肪酸，破坏细胞膜的结构和完整性[28]，也会损伤抗氧化防御系统。张崇志等[29]的研究发现，在妊娠期母羊的营养限制可显著降低胚胎血清的T-AOC、SOD活性、GSH-Px含量，而增加MDA的含量。本试验中在20和40 d时，羔羊的血清中T-AOC、SOD活性、GSH-Px含量均随母羊饲粮营养水平的降低而显著或极显著增加，而MDA的含量极显著降低。结果不一致的原因可能是张崇志等[29]研究中的限饲组母羊采食营养水平过低，母羊营养平衡被打破，影响胚胎的发育，产后羔羊的抗氧化能力没有得到很好的补偿。张艳云等[30]研究了肉种鸡产蛋后期的能量限制对子代的血清抗氧化能力的影响，结果表明，子代在生长过程表现出明显的补偿生长效果，血清和胸肌的抗氧化能力均显著提高。潘家强等[31]的研究也表明，早期的限饲处理在经后期补偿生长后，肉鸡血清SOD含量显著提高。He等

[5]的研究显示,妊娠期母羊的能量与蛋白质限制可降低出生时羔羊血浆的抗氧化能力，但在羔羊出生后6、22周时，能量或蛋白质限制组羔羊血浆中SOD含量高于未限制组，且肝脏、胸腺中相关基因的表达量也高于未限制组。本试验中，妊娠后期母羊的低营养水平提高了后代羔羊的血清抗氧化能力，结果与上述研究相一致。妊娠后期母羊低营养水平的饲粮提高后代羔羊的血清抗氧化能力原因可能是：在妊娠期母羊营养处于其可控的调节能力范围内，羔羊在胚胎发育阶段虽受到一定限制，但在羔羊哺乳期，母羊充足的母乳供应下，低营养水平组羔羊表现补偿生长效果，具有更强的抗氧化能力。同时，也说明在产后羔羊充足母乳的条件下，当母羊的自身营养调控能力没有被打破时，低营养水平的饲粮有利于提高产后羔羊的抗氧化能力。

4 结 论

妊娠后期通过精料补充料与饲草比例调控母羊饲粮营养水平时发现，低营养水平（低精料补充料比例）能够降低羔羊初生重，但经补偿生长作用，羔羊血清抗氧化能力得到提高，生长性能也得到恢复。

参考文献:

[1] FUNSTON R N,LARSON D M,VONNAHME K A.Effects of maternal nutrition on conceptus growth and offspring performance:implications for beef cattle production[J].Journal of Animal Science,2010,88(13):E205–E215.

[2] 祁敏丽,柴建民,王波,等.饲粮营养限制对早期断奶湖羊羔羊生长性能以及内脏器官发育的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):444–454.

[3] 赵彦光,胡钟仁,胡清泉,等.不同营养水平精饲料对初产萨能奶山羊生长及繁殖性能的影响[J].安徽农业科学,2015,43(10):144–148.

[4] 崔晓鹏,侯生珍,王志有,等.补饲日粮不同精粗比对妊娠后期藏母羊生产性能及血清指标的影响[J].饲料工业,2016,37(13):40–44.

[5] HE Z X,SUN Z H,TAN Z L,et al.Effects of maternal protein or energy restriction during late gestation on antioxidant status of plasma and immune tissues in postnatal goats[J].Journal of Animal Science,2012,90(12):4319–4326.

[6] VAN EMON M L,SCHAUER C S,ECKERMAN S R,et al.Supplementing metabolizable

protein to ewes during late gestation:Ⅱ.Effects on ewe lamb performance and reproductive efficiency[J].Journal of Animal Science,2015,93(3):1332–1339.

[7] 徐相亭,王宝亮,程光民,等.不同精粗比日粮对杜泊绵羊生长性能、血清生化指标及经济效益的影响[J].中国畜牧兽医,2016,43(3):668–675.

[8] 楼灿,姜成钢,马涛,等.杜寒杂交繁殖母羊氮代谢和维持净蛋白质需要的研究[J].畜牧兽医学报,2014,45(6):943–952.

[9] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2003:45–100.

[10] 刘洁,刁其玉,赵一广,等.肉用绵羊饲料养分消化率和有效能预测模型的研究[J].畜牧兽医学报,2012,43(8):1230–1238.

[11] SIBANDA L M,NDLOVU L R,BRYANT M J.Effects of feeding varying amounts of a grain/forage diet during late gestation and lactation on the performance of matebele goats[J].The Journal of Agricultural Science,1997,128(4):469–477.

[12] GLUCKMAN P D,CUTFIELD W,HOFMAN P,et al.The fetal,neonatal,and infant environments-the long-term consequences for disease risk[J].Early Human Development,2005,81(1):51–59.

[13] CHADIO S,KATSAFADOU A,KOTSAMPASI B,et al.Effects of maternal undernutrition during late gestation and/or lactation on colostrum synthesis and immunological parameters in the offspring[J].Reproduction,Fertility and Development,2016,28(3):384–393.

[14] VAN EMON M L,SCHAUER C S,LEKATZ L A,et al.Supplementing metabolizable protein to ewes during late gestation:Ⅰ.Effects on ewe performance and offspring performance from birth to weaning[J].Journal of Animal Science,2014,92(1):339–348.

[15] 王宏博,郭江鹏,李发弟,等.不同营养水平对滩×寒杂种母羊繁殖性能的影响[J].草业学报,2011,20(6):254–263.

[16] 高峰,刘迎春,张崇志,等.妊娠后期营养限饲对蒙古绵羊体贮动员及其胎儿生长发育的影响[J].动物营养学报,2013,25(6):1237–1242.

[17] 高峰,刘迎春.妊娠后期胎儿宫内生长受限对出生后羔羊内脏器官的影响[J].中国农业科学,2012,45(15):3130–3136.

[18] VICKERS M H,BREIER B H,CUTFIELD W S,et al.Fetal origins of hyperphagia,obesity,and hypertension and postnatal amplification by hypercaloric nutrition[J].American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism,2000,279(1):E83–E87.

[19] 高峰,侯先志,赵志恭,等.妊娠后期限饲蒙古绵羊超补偿生长现象的研究[J].中国畜牧杂志,2005,41(8):17–20.

[20] 高峰,侯先志,赵志恭,等.妊娠后期限饲母羊所产羔羊补偿生长的研究[J].内蒙古农业大学学报,2002,23(4):18–21.

[21] LIPPENS M,HUYGHEBAERT G,DE GROOTE G.The efficiency of nitrogen retention during compensatory growth of food-restricted broilers[J].British Poultry Science,2002,43(5):669–676.

[22] MCMILLEN I C,ADAMS M B,ROSS J T,et al.Fetal growth restriction:adaptations and consequences[J].Reproduction,2001,122(2):195–204.

[23] KAMALZADEH A,KOOPS W J,VAN BRUCHEM J,et al.Feed quality restriction and compensatory growth in growing sheep:development of body organs[J].Small Ruminant Research,1998,29(1):71–82.

[24] HE Z X,WU D Q,SUN Z H,et al.Protein or energy restriction during late gestation alters fetal growth and visceral organ mass:an evidence of intrauterine programming in goats[J].Animal Reproduction Science,2013,137(3/4):177–182.

[25] 木其尔,敖长金,萨茹丽,等.沙葱总黄酮对肉羊抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2016,28(6):1823–1831.

[26] 金艳梅,张晓庆,王冲,等.放牧时间对羊肉多不饱和脂肪酸沉积及氧化稳定性的影响[J].草业学报,2016,25(7):104–111.

[27] 黄静,邝哲师,廖森泰,等.桑叶粉和发酵桑叶粉对胡须鸡生长性能、血清生化指标及抗氧化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(6):1877–1886.

[28] 初汉平,李福昌.日粮能量水平对种公兔精液品质、血液生化指标、抗氧化能力及生殖激素的影响[J].中国兽医学报,2015,35(10):1678–1683.

[29] 张崇志,刘迎春,高峰,等.妊娠后期营养限饲蒙古绵羊对其胎儿生长发育及血液生理生化

指标的影响[J].动物营养学报,2013,25(2):344–349.

[30] 张艳云,李金锋,姜丹,等.肉种鸡产蛋后期能量限饲对子代生长性能、血清生化指标和抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2013,25(11):2550–2558.

[31] 潘家强,孙卫东,谭勋,等.早期限饲对肉鸡体内脂质过氧化作用和抗氧化酶活性的影响[J].畜牧兽医学报,2005,36(5):464–470.

Effects of Maternal Dietary Nutrient Level in Late Gestation on Growth Performance, Organ Development and Serum Antioxidant Capacity of Postpartum Lambs

ZHANF Fan　CUI Kai　WANG Jie　DIAO Qiyu*

(*Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: Under the same dry matter intake condition, concentrate supplement to forage grass ratio was changed to change dietary nutrient level of ewes in late gestation, this study aimed to investigate the effects on growth performance, organ development and serum antioxidant capacity of postpartum lambs. Sixty-six healthy primiparous *Hu* ewes at 90 days of gestation with similar age [(11.0±1.0) months of age] and body weight [(44.43± 2.20) kg] were randomly divided into 3 groups with 22 ewes per group. Concentrate supplement and forage grass were offered to ewes at ratios of 5:5 (5:5 group), 4:6 (4:6 group) and 3:7 (3:7 group) until parturition. After parturition, ewes were fed the same total mixed ration *ad libitum*. Lambs were slaughtered to determine tissue and organ weight at 10 and 60 days after birth, and serum antioxidant indexes were determined at 20 and 60 days after birth. The results showed as follows: 1) there were no significant effects of maternal dietary nutrient level in late gestation on birth weight and body weight at suckling period (0 to 60 days after birth) (P>0.05), but with the nutrient level decreased, lamb birth weight had a decreased trend (0.05≤P<0.10) and body weight at 40 and 50 days after birth had an increased trend (0.05≤P<0.10). 2) At 0 day after birth, with the decrease of dietary nutrient level of ewes in late gestation, chest depth of lambs was significantly increased （P<0.01）, while body length was significantly decreased (P<0.05); at 60 days after birth, with the decrease of dietary nutrient

---

*Corresponding author, professor, E-mail: diaoqiyu@caas.cn　　（责任编辑　王智航）

level of ewes in late gestation, chest depth and curved crown-rump length of lambs were significantly increased ($P<0.05$ or $P<0.01$). 3) At 10 days after birth, with the decrease of dietary nutrient level of ewes in late gestation, lung and liver weights of lambs were significantly decreased ($P<0.05$); at 60 days after birth, there was no significant difference on organ weight ($P>0.05$). 4) At 40 and 60 days after birth, with the decrease of dietary nutrient level of ewes in late gestation, serum total antioxidant capacity, superoxide dismutase activity and glutathione peroxidase content of lambs were significantly increased ($P<0.05$ or $P<0.01$), and serum malondialdehyde content was significantly decreased ($P<0.05$). In late gestation, when regulating dietary nutrient level by changing concentrate supplement to forage grass ratio, it is observed that low nutrient level (lower concentrate supplement ratio) had the tendency of decreasing birth weight of lambs, but after nutrient compensate, serum antioxidant capacity of lambs is improved, and growth performance recovers.

Key words: late gestation; nutrient level; *Hu* sheep; lamb; body weight; organ development; antioxidant capacity